

Проведенные исследования позволяют предложить простой способ получения информации о глубине проплавления, заключающийся в частотной селекции сигнала датчика рентгеновского излучения, т. е. в выделении, например, составляющей с частотой  $\omega$  и ее использовании для управления параметрами ЭЛС (током луча или его фокусом). Для управления глубиной проплавления целесообразно использовать составляющую с частотой, равной частоте поискового движения, так как ее амплитуда  $b_1$  (наибольшая по сравнению с амплитудами  $b_2$  и  $b_3$ ) и фаза однозначно определяют положение пятна нагрева в канале проплавления.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– интенсивность рентгеновского излучения, возникающего при ЭЛС, несет информацию о глубине проплавления;

– контроль глубины проплавления при регистрации рентгеновского излучения со стороны ввода электронного луча основан на определении положения источника излучения в канале проплавления коллимированными рентгеновскими датчиками по максимуму интенсивности;

– введение поискового движения приводит к появлению в спектре рентгеновского излучения составляющих

с частотами, кратными частоте поискового движения, которые несут информацию о глубине проплавления. Так, амплитуда спектральной составляющей с частотой поискового движения пропорциональна смещению пятна нагрева относительно оси рентгеновского датчика. При этом характер изменения этой составляющей не зависит от параметров ЭЛС (тока луча, тока фокуса), т. е. если пятно нагрева (источник излучения) совпадает с осью коллимированного датчика, то амплитуда составляющей равна нулю. Изменение параметров ЭЛС влияет на крутизну амплитуды при смещении пятна нагрева относительно оси датчика, т. е. на коэффициент преобразования;

– математические модели коллимированного рентгеновского датчика могут быть использованы для разработки схемотехнических решений устройств управления глубиной проплавления при ЭЛС.

#### Библиографическая ссылка

1. Браверман, В. Я. Экспериментальные исследования рентгеновского излучения при электронно-лучевой сварке / В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев, А. Н. Успенский // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева : сб. науч. тр. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Вып. 6. Красноярск, 2005. С. 196–200.

V. Ya. Braverman, V. S. Belozertsev, T. G. Veisver

### CONTROL OF MELTING DEPTH BY X-RAY RADIATION DURING ELECTRON-BEAM WELDING

*The possibility of control of melting depth by X-RAY radiation during electron-beam welding is considered.*

*Keywords: electron beam welding, x-ray radiation, melting depth.*

© Браверман В. Я., Белозерцев В. С., Вейсвер Т. Г., 2010

УДК 621.791

С. Л. Бусыгин, А. П. Рукосуев, С. К. Крушатица, А. И. Демченко, А. С. Рафальский

### ПРИМЕНЕНИЕ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ\*

*Разработаны ресурсосберегающая технология и универсальная установка для изготовления электродов контактной сварки из утилизированных медных отходов.*

*Ключевые слова: контактная сварка, электроды для контактной сварки.*

На сегодняшний день контактная сварка занимает второе место в мире по распространенности и применяется в машиностроении, автомобилестроении, авиационно-космической промышленности, строительстве и др. Элек-

троды контактной сварки являются основным инструментом, технически осуществляющим процесс образования сварной точки, и состоят из рабочей части  $L1$ , основной части  $L2$ , посадочной части  $L3$  и охлаждающего отвер-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект № 62-КФ).

стия 1 (рис. 1). Они непосредственно подводят к деталям сварочный ток и усилие сжатия и одновременно являются элементами вторичного контура, силовыми конструктивными элементами контактной машины и сменным технологическим инструментом. В результате работы торцы электродов испытывают высокую токовую нагрузку, высокие градиенты температур, циклические градиенты напряжений и упруго-пластические деформации сжатия, сдвига и изгиба. На рабочей поверхности также действуют силы трения качения и скольжения [1].

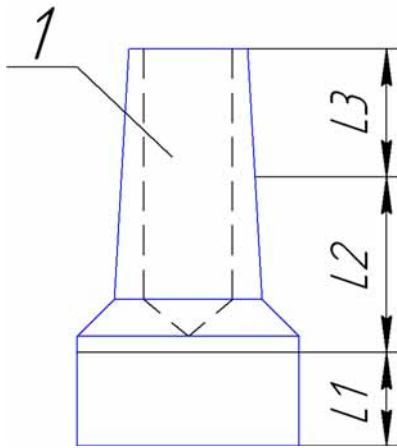


Рис. 1. Электрод для контактной сварки:  
L1 – рабочая часть; L2 – основная часть;  
L3 – посадочная часть; 1 – охлаждающее отверстие

На машиностроительных заводах, а также на заводах по изготовлению строительных изделий электроды для контактной сварки вытачивают из прутков, поступающих с металлургических заводов в термически необработанном состоянии. Однако такой способ изготовления электродов нерационален вследствие больших отходов металла, так как в стружку при этом идет до 40 % медных сплавов [2].

Кроме того, в процессе эксплуатации электрод изнашивается на расстояние  $L1$ , после чего его утилизируют, что также увеличивает процент металла, попадающего на переработку.

В Сибирском федеральном университете разработана ресурсосберегающая технология металлургической переработки меди и медных сплавов, а также спроектирована установка для штамповки электродов контактной сварки (рис. 2).

Установка работает следующим образом. На столе кривошипного пресса 1 смонтирована плита 8, перемещающаяся с помощью нижнего пневмоцилиндра 6. На плите установлен корпус 14 с матрицей 10 и клином 9, перемещающимся в корпусе 14 с помощью верхнего пневмоцилиндра 7. В молоте 5 закреплен пуансон 11, совершающий обратнопоступательные движения. Нижняя часть содержит охлаждающую камеру 12 для закалки электродов. Разогрев металла осуществляется в разливочном узле 2 индукционной печи, состоящей из блока согласования 3 и источника питания 4.

Технологический процесс включает в себя следующие операции:

- медные отходы засыпают в разливочный узел 2 индукционной печи, который разогревают на  $300 \dots 350 \text{ }^\circ\text{C}$  выше температуры плавления меди;
- расплавленный металл легируют, добавляя 0,8...1,0 массового процента наночастиц хрома (размер частиц составляет  $20 \dots 70 \text{ нм}$ );
- для заливки расплавленного металла в матрицу 10 плиту 8 перемещают в крайнее правое положение;
- дно матрицы 10 закрывают клином 9, перемещая его в крайнее правое положение;
- расплавленный металл заливают в матрицу 10 из разливочного узла 2, поворачивая рукоять 13 влево;
- плиту 8 перемещают в крайнее левое положение для штамповки электрода;

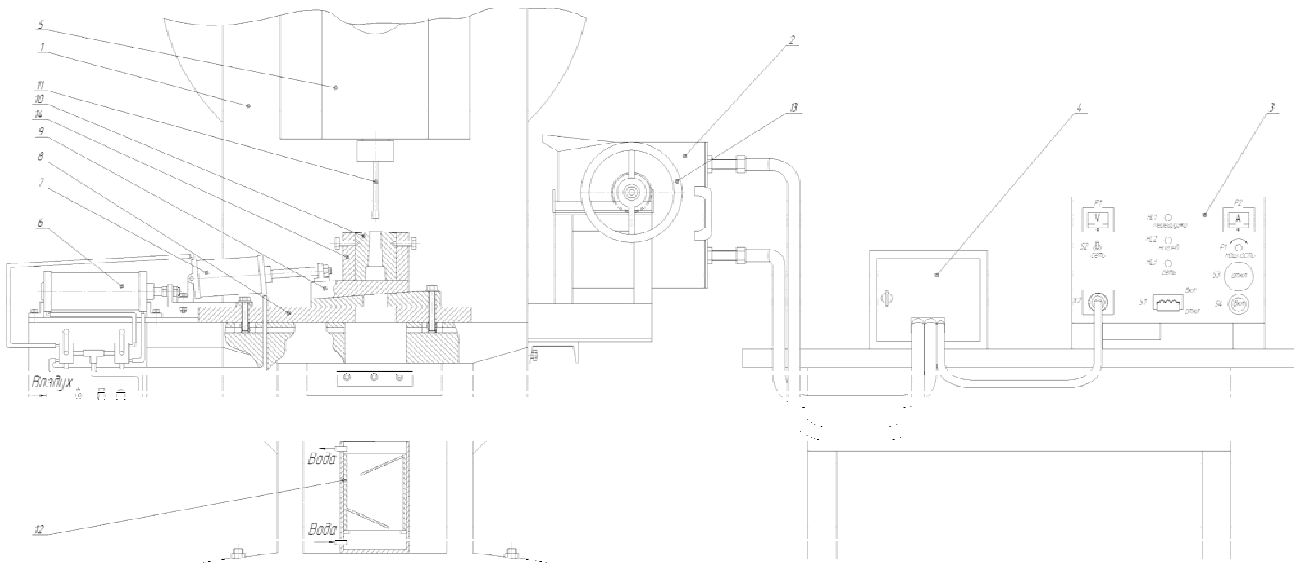


Рис. 2. Установка для штамповки электродов контактной сварки: 1 – кривошипный пресс; 2 – разливочный узел; 3 – блок согласования; 4 – источник питания; 5 – молот; 6 – нижний пневмоцилиндр; 7 – верхний пневмоцилиндр; 8 – плита; 9 – клин; 10 – матрица; 11 – пуансон; 12 – охлаждаемая камера; 13 – рукоять; 14 – корпус

– металл выдерживают в матрице 10 до температуры 850...900 °С и молотом 5 с закрепленным в нем пуансоном 11 штампуют электрод;

– клин 9 отводят в крайнее левое положение, тем самым открывая дно матрицы 10;

– повторную штамповку производят пуансоном 11;

– электрод через отверстие в плите 8 и отверстие в столе кривошипного пресса 1 падает в охлаждаемую камеру 12, где происходит его последующая термообработка.

Для производства следующего электрода цикл работы повторяют.

Испытания полученных электродов проводились при контактной сварке двух стержней из стали 35 ГС толщиной 10 + 40 мм в следующем режиме сварки: сила тока  $I_{св} = 14\ 000\ \text{А}$ , время сварки  $t_{св} = 0,5 \dots 1,5\ \text{с}$ , усилие сжатия электродами  $P_с = 250\ \text{кг}$ , длительность проковки  $\Delta t_{св} = 1\ \text{с}$ . Испытания показывают, что при содержании 0,8 массового процента наночастиц хрома твердость электродов составляет 125 НВ, а прочность при рабочих нагрузках и температурах будет ниже допустимых значений. При содержании 0,9 массового процента наночастиц хрома твердость электродов повышается до 150 НВ, а прочность при рабочих нагрузках и температурах остается в пределах допустимых значений. При содержании 1,0 массового

процента наночастиц хрома твердость электродов составляет уже 170 НВ, но при этом наблюдается понижение прочностных свойств из-за склонности материала к хрупкому разрушению при рабочих нагрузках и высоких температурах (образуются трещины, выкрашивания и происходит потеря формы).

Таким образом, применение ресурсосберегающей технологии переработки меди и медных сплавов позволяет использовать различные медные отходы, повышая тем самым экологические и экономические показатели. По данной технологии можно изготавливать электроды для контактной сварки различных типоразмеров, варьируя в широком диапазоне химический состав электродов.

#### **Библиографические ссылки**

1. Повышение работоспособности электродов при точечной контактной сварке сталей / Г. А. Меньшиков, А. Н. Власенко, В. А. Невровский, В. А. Васин // Свароч. пр-во. 2008. № 10. С. 32–35.

2. Восстановление электродов рельефной сварки / А. П. Рукосуев, С. Л. Бусыгин, В. М. Чубинец, О. Ю. Антоненко // Вестн. Краснояр. гос. техн. ун-та. Машиностроение. 2005. № 40. С. 11–15.

S. L. Busigin, A. P. Rukosuev, S. K. Krushatina, A. I. Demchenko, A. S. Rafalsky

### **APPLICATION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF COPPER AND COPPER ALLOYS METALLURGICAL RECYCLING FOR CONTACT WELDING ELECTRODES PRODUCTION**

*The article presents a developed Resource-saving technology and universal installation for manufacturing of electrodes for contact welding from the utilized copper wastes.*

*Keywords: contact welding, electrodes for contact welding.*

© Бусыгин С. Л., Рукосуев А. П., Крушатина С. К., Демченко А. И., Рафальский А. С., 2010